

Zbigniew Goryca
Politechnika Świętokrzyska, Kielce

WOLNOOBROTOWY GENERATOR O MOCY 500 W I MAŁEJ PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ

LOW SPEED GENERATOR WITH THE POWER OF 500 W

Streszczenie: W artykule przedstawiono konstrukcję i wybrane wyniki badań wielobiegunowego generatora z magnesami trwałymi o mocy 500 W i prędkości znamionowej 200 obr/min. Generator ten ma współpracować z niewielką turbiną wiatrową o pionowej osi obrotu. Dzięki obwodowi magnetycznemu o unikalnej, opatentowanej konstrukcji uzyskano bardzo mały moment zaczepowy pomimo dużej liczby biegunów wirnika i pomimo prostych żłobków stojana. W artykule pokazano konstrukcję wirnika i stojana oraz widok wykonanego prototypu prądnicy, przedstawiono zależność napięcia od prędkości obrotowej dla biegu jałowego oraz zależność napięcia od obciążenia dla prędkości znamionowej, a także wyniki pomiarów momentu zaczepowego. Generator może być także stosowany w mikroelektrowniach wodnych i wiatrowych.

Abstract: The paper presents the design and chosen experiment results for multi-pole permanent magnet generator of the power of 500W and rated speed of 200 rpm. This generator is to cooperate with small wind turbine of vertical pivot. In spite of many rotor's poles and straight stator grooves, very low cogging torque has been obtained due to unique patented magnetic circuit. The paper also shows the image of generator prototype, the relationship between the voltage and the speed of generator at no-load mode, the relationship between the voltage and the load of generator at the rated speed and measurement results for cogging torque. This generator can also be applied in micro wind and hydrology power plant.

Słowa kluczowe: generator, moment zaczepowy, elektrownia wiatrowa

Keywords: generator, cogging torque, wind power plant

1. Wstęp

Małe, hybrydowe źródła zasilania znajdują zastosowanie w miejscach oddalonych od sieci energetycznej np. w przyczepach campingowych czy bramkach na autostradach. W źródłach tych oprócz ogniw fotowoltaicznych stosuje się najczęściej małe turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu, gdyż są one ciche i nie wymagają kierunkowania na wiatr. Turbiny te mają niewielkie prędkości obrotowe i mały moment rozruchowy i dlatego współpracujące z nimi generatory muszą mieć dużą liczbę biegunów i wyjątkowo mały moment zaczepowy zapewniający start turbiny przy małej prędkości wiatru. Dotyczy to konstrukcji bezprzekładniowych [1], [3], [7], [8], w których turbina wiatrowa mocowana jest bezpośrednio na wale generatora. W artykule przedstawiono konstrukcję generatora spełniającego te dwa warunki. Zaletą tego generatora jest także mała masa wynikająca z zastosowania lekkiego wirnika w postaci wydrążonego walca. Unikalna, opatentowana konstrukcja [10] obwodu magne-

tycznego pozwala uzyskać wyjątkowo mały moment zaczepowy przy prostych zębach blach stojana. Dzięki temu można efektywnie wykorzystać powierzchnię żłobka i nie ma kłopotów związanych z wykonaniem uzwojenia tak, jak w przypadku stojanów o skośnych żłobkach.

2. Założenia konstrukcyjne

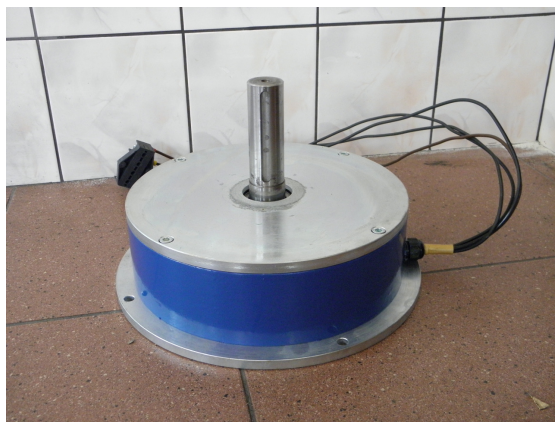
Przy projektowaniu generatora przyjęto następujące, podstawowe założenia:

- moc generatora 500 W,
- napięcie wyjściowe 3X24 V,
- częstotliwość 50 Hz,
- prędkość obrotowa 200 obr./min.

Mała prędkość obrotowa wynika z zastosowania do napędu generatora wolnobieżnej, sześciopółpętowej turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu. Prędkość ta przy częstotliwości napięcia wyjściowego 50 Hz narzuca liczbę biegunów wirnika równą 30.

3. Konstrukcja generatora

Podstawowym problemem w wielobiegunowych maszynach z magnesami trwałymi jest duży moment zaczepowy [2], [4], [5], [6] wynikający z dużej liczby biegunów i proporcjonalny do tej liczby. Moment ten powoduje, przy pracy maszyny, drgania i związany z tymi drganiami hałas. Poza tym elektrownia wiatrowa startuje dopiero przy znacznej prędkości wiatru, co ma głównie znaczenie psychologiczne dla odbiorcy. Najprostszym i najczęściej stosowanym sposobem minimalizacji tego momentu jest stosowanie skosu żłobków stojana [4], [6]. Można go jednak stosować w przypadkach, gdzie długość pakietu blach stojana jest znaczna. Przy małej długości pakietu następuje wyraźne ograniczenie powierzchni użytkowej żłobka i trudności z umieszczeniem w nim uzwojenia. Innym popularnym sposobem minimalizacji momentu zaczepowego jest stosowanie skosu lub pseudoskosu (kilka magnesów na długości wirnika przesuniętych względem siebie o określony kąt) magnesów [5]. Rozwiązanie to wymaga stosowania drogich przyrządów do klejenia magnesów i nie daje tak dobrych efektów jak skos zębów stojana. W przedstawionej konstrukcji minimalizację momentu zaczepowego uzyskano przez zastosowanie nietypowej, nieparzystej liczby zębów stojana różnej o trzy od liczby biegunów magnetycznych wirnika. Obliczenia projektowe modelu płaskiego wykonano przy użyciu programu COMSOL Multiphysics w wersji 3.3, a konstrukcję mechaniczną zaprojektowano tak, aby generator był płaski. Poniższe zdjęcie przedstawia widok wykonanego prototypu maszyny.



Rys. 1. Widok prototypowego generatora

4. Wyniki badań laboratoryjnych

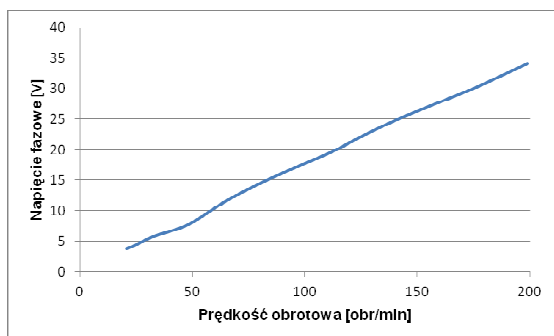
Wstępne badania generatora obejmowały pomiary: momentu zaczepowego, pomiar napięcia biegu jałowego w funkcji prędkości obrotowej oraz pomiar napięcia wyjściowego w funkcji obciążenia przy prędkości znamionowej. Badany generator napędzany był przez przekładnię asynchronicznym silnikiem klatkowym zasilanym z falownika. Wartość maksymalną momentu zaczepowego łącznie z momentem tarcia w łożyskach zmierzono przy pomocy zrównoważonej dźwigni i precyzyjnych odważników. Dokonano 10-ciu pomiarów w różnych położeniach wirnika i wyciągnięto średnią arytmetyczną. Jak wspomniano wcześniej średnia wartość momentu zaczepowego i momentu tarcia w łożyskach jest jak na maszynę wielobiegunową niewielka i wynosi 0,57 Nm, co stanowi 2,7 % momentu znamionowego.



Rys. 2. Widok stanowiska badawczego

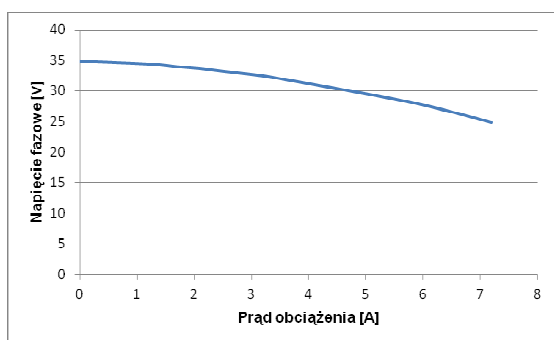
Zasilanie silnika napędowego przez falownik umożliwiło regulację prędkości obrotowej i wyznaczenie charakterystyki biegu jałowego generatora.

Jak widać jest to typowa dla maszyn z magnesami trwałymi zależność - napięcie wyjściowe generatora zależy liniowo od prędkości obrotowej. Charakterystyka obciążenia najlepiej obrazuje właściwości energetyczne generatora.



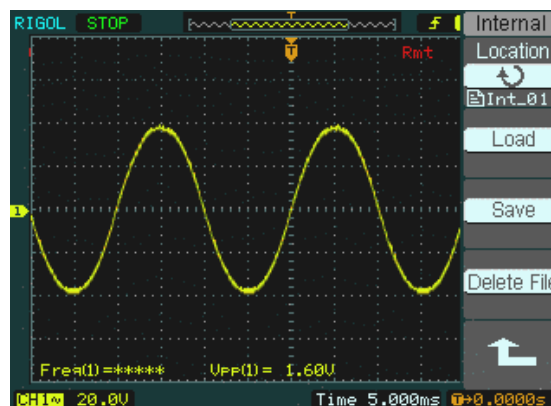
Rys. 3. Zależność napięcia wyjściowego od prędkości obrotowej generatora

Podczas jej wyznaczania badany generator obciążony był rezystancyjnie, symetrycznie w każdej fazie. Podczas tej próby ustalono prędkość obrotową 200 obr./min. i stopniowo obciążano generator. Wyniki pomiarów pokazuje rys. 4.



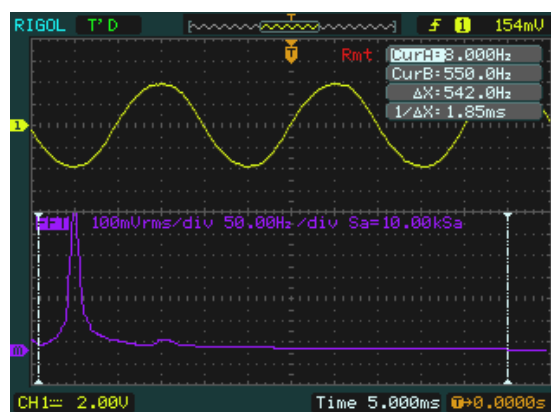
Rys. 4. Zależność napięcia wyjściowego od prądu obciążenia

Jak widać napięcie fazowe generatora maleje ze wzrostem prądu obciążenia i jest to typowa zależność dla źródeł charakteryzujących się małą mocą i znaczną impedancją wewnętrzną. Wyraźną poprawę tej zależności można uzyskać przez kompensację indukcyjności uzwojenia generatora pojemnościami zależnymi od obciążenia generatora. Lepszym rozwiązaniem jest tu obciążenie generatora aktywnym prostownikiem, w którym to przypadku można uzyskać brak przesunięcia fazowego między napięciem rotacji a prądem obciążenia. W takim przypadku uzyskuje się znaczącą poprawę charakterystyki zewnętrznej, gdyż napięcie wyjściowe jest wówczas napięciem rotacji pomniejszonym jedynie o spadek napięcia na małej rezystancji uzwojenia. Kształt napięcia wyjściowego przy obciążeniu znamionowym jest pokazany na rys. 5.



Rys. 5. Kształt napięcia fazowego

Przeprowadzona analiza Fouriera potwierdza, że kształt napięcia wyjściowego przy obciążeniu rezystancyjnym nie odbiega od sinusoidy i zawiera głównie pierwszą harmoniczną rys. 6.



Rys. 6. Zawartość wyższych harmonicznych w przebiegu napięcia wyjściowego FFT

5. Wnioski

Przedstawiony w pracy generator przeznaczony jest do współpracy z sześciłopatową turbiną wiatrową o pionowej osi obrotu. Jego łożyskowanie umożliwia umocowanie turbiny bezpośrednio na wale generatora. Jak wspomniano wcześniej rozwiązanie to może być stosowane w hybrydowych, wyspowych układach zasilania np. na bramkach autostrad. Opracowany generator ma mały moment zaczepowy przy prostych żłobkach stojana i prostych magnesach. Dzięki temu turbina wiatrowa startować będzie już przy słabych wiatrach. Niska prędkość obrotowa – 200 obr/min pozwala umieszczać turbinę wiatrową bezpośrednio na wale generatora. Przedstawiony generator ma średnicę 380 mm i długość

250 mm – zatem niewielkie wymiary, a także małą masę wynoszącą 33 kg.

6. Literatura

- [1]. Czuczman J., Czerepanjak M., Szur I., Golubowski P.: *Generatory synchroniczne do autonomicznych, bezprzekładniowych elektrowni wiatrowych*, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 71, str. 125 - 130, 2005.
- [2]. Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [3]. Goryca Z., Ziółek M.: *Elektrownia wiatrowa VAWT o mocy 1 kW z systemem zdalnego sterowania*, *Wiadomości Elektrotechniczne* nr 1, 2014 r.
- [4]. Kowol M.: *Analiza pracy przelączalnego silnika reluktancyjnego z wirnikiem zewnętrznym do napędu lekkich pojazdów*, rozprawa doktorska, Politechnika Opolska, 2008.
- [5]. Łukaniszyn M., Młot A.: *Analiza momentu elektromagnetycznego i składowych pulsacji w bezszczotkowym silniku prądu stałego wzbudzonym magnesami trwałymi*, *Przegląd Elektrotechniczny* nr 10/2005.
- [6]. Gajewski M.: *Analiza pulsacji momentu w silnikach bezszczotkowych z magnesami trwałymi*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, 2007.
- [7]. Goryca Z., Młodzikowski P.: *Analiza konstrukcji bezprzekładniowych prądnic do małych elektrowni wiatrowych*, Konferencja Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki” PPEEm, Wisła 14-17.12.2009.
- [8]. Polak A., Bezański A.: *Małe elektrownie wiatrowe-przykłady praktycznego zastosowania*, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 71, str. 131 - 133, 2005.
- [9]. Rossa R., Białas A.: *Prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi do przydomowych elektrowni wiatrowych*, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 89, str. 133 -137, 2011.
- [10]. Goryca Z., Malinowski M., Pakosz A.: *Wielobiegunowa maszyna z magnesami trwałymi o zredukowanym momencie zaczepowym*, Zgłoszenie patentowe nr P-395663 z dnia 15.07.2011.

Autor

dr hab. inż. Zbigniew Goryca prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Katedra Inżynierii Budowli i Energii Odnawialnych, ul. Aleja 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, tel. +(48-41) 34-24-850, 601-25-05-30, e-mail: tgoryca@kki.net.pl